

# Korelasi Temperatur Udara dan Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Performansi Mesin Pendingin Siklus Adsorpsi Tenaga Matahari

**Tulus B. Sitorus, Farel H. Napitupulu, dan Himsar Ambarita**

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jalan Politeknik Kampus USU, Medan - 20155, INDONESIA

E-mail: tburhanudin@yahoo.com

## ABSTRACT

*One utilization of solar energy is adsorption refrigeration cycle where its performance is influenced by the air temperature and solar radiation intensity. This research aims to determine the effect of air temperature and solar radiation intensity on the performance of the solar adsorption refrigeration. This testing uses activated carbon adsorbent of 8 kg and 2 litres methanol refrigerant. The test results showed that the value of maximum COP obtained 0.064 and the minimum COP is 0.028. The lowest water temperatures that can be reached during the process of adsorption is 8.24°C. Correlation exists between the air temperature and solar radiation intensity on the COP value is significant so as to obtain mathematical equations. Air temperature correlation with the solar radiation intensity is 0.90 and the correlation of the intensity of solar radiation with the COP obtained -0.88. While the value of the correlation coefficient of the air temperature with COP is -0.95. Also obtained the coefficient of determination is 90.45%, which indicates that the influence of air temperature and solar radiation intensity on the coefficient of performance is 90.45%.*

**Keywords:** *air temperature, solar radiation, coefficient of performance*

## PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi energi setiap tahun membuat Pemerintah Indonesia semakin aktif dalam mencari potensi sumber energi terbarukan yang ada di tanah air. Beberapa sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan yang dapat diterapkan di tanah air antara lain bioetanol, biodiesel, energi geotermal, mikrohidro, energi angin, dan energi matahari. Khusus untuk energi matahari, keberadaannya cukup potensial di Indonesia. Hal ini dapat dilihat dari posisi astronomi negara Indonesia di peta dunia. Dengan letak Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa, yaitu pada lintang 6<sup>0</sup> Lintang Utara (LS) - 11<sup>0</sup> Lintang Selatan (LS) dan 95<sup>0</sup> Bujur Timur (BT) - 141<sup>0</sup> Bujur Timur, dan dengan memperhatikan peredaran matahari dalam setahun yang berada pada daerah 23,5<sup>0</sup> LU dan 23,5<sup>0</sup> LS maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 - 12 jam dalam sehari. Karena letak Indonesia berada pada daerah khatulistiwa

maka Indonesia memiliki tingkat radiasi matahari yang cukup baik. Menurut data buku putih energi Indonesia (2006) bahwa diperkirakan rata-rata intensitas radiasi matahari yang jatuh pada wilayah permukaan Indonesia sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> setiap harinya.

Oleh karena itu, hal ini memotivasi para peneliti untuk melakukan riset guna memanfaatkan energi termal dari matahari tersebut. Salah satu pemanfaatan dari energi matahari adalah mesin pendingin siklus adsorpsi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui korelasi temperatur udara dan intensitas radiasi matahari terhadap kinerja mesin pendingin siklus adsorpsi tenaga matahari. Disamping itu untuk memperoleh persamaan koefisien performansi (COP) mesin pendingin siklus adsorpsi sebagai fungsi temperatur udara dan intensitas radiasi matahari. Mengingat penelitian mengenai mesin pendingin siklus adsorpsi khususnya yang menggunakan energi matahari dapat dikatakan masih jarang dilakukan di Indonesia maka diharapkan penelitian ini dapat

bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) di bidang energi matahari.

## **STUDI LITERATUR**

### **Intensitas Radiasi Matahari**

Menurut Duffie (2006) bahwa matahari memiliki diameter sebesar  $1,39 \times 10^9$  m dan jarak rata-rata matahari dari permukaan bumi adalah  $1,5 \times 10^{11}$  m. Bumi mengelilingi matahari dengan lintasan berbentuk elips dengan matahari berada pada salah satu pusatnya. Karena lintasan bumi terhadap matahari berbentuk elips maka jarak antara bumi dan matahari adalah tidak konstan. Jarak terdekat adalah  $1,47 \times 10^{11}$  m yang terjadi pada tanggal 3 Januari dan jarak terjauh terjadi pada tanggal 3 Juli dengan jarak  $1,52 \times 10^{11}$  m. Perbedaan jarak merupakan salah satu yang menyebabkan intensitas radiasi matahari yang diterima atmosfer bumi menjadi berbeda. Intensitas radiasi matahari merupakan jumlah energi yang diterima oleh suatu permukaan per satuan luas dan per satuan waktu. Dengan adanya satuan waktu berarti dalam pengukuran ini termasuk pula lama penyinaran atau lama matahari bersinar dalam satu hari. Selain itu besarnya intensitas radiasi di permukaan bumi tergantung dari posisi lintang lokasi, ketebalan awan, topografi dan musim. Pengaruh adanya awan di atmosfer dapat menyebabkan penerimaan radiasi matahari di permukaan bumi bervariasi, dari 40% di daerah basah dengan banyak awan sampai 80% di daerah gurun yang kering (Larcher, 1980). Di Indonesia yang memiliki iklim tropis maka intensitas radiasi matahari dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu musim, letak geografis dan ketinggian tempat.

### **Temperatur Udara**

Temperatur udara meliputi dua aspek yaitu derajat dan insolasi atau intensitas radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi dimana salah satu yang mempengaruhi insolasi adalah ketinggian suatu lokasi dari permukaan laut. Semakin tinggi kedudukan suatu tempat, temperatur udara di tempat tersebut akan semakin rendah, begitu juga sebaliknya semakin rendah kedudukan suatu tempat, temperatur udara akan semakin tinggi. Untuk setiap kenaikan ketinggian 100 meter maka temperatur akan menurun sekitar  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Perbedaan temperatur tinggi rendahnya suatu daerah dinamakan derajat geotermis.

Temperatur udara rata-rata tahunan pada setiap wilayah di Indonesia berbeda-beda sesuai dengan tinggi rendahnya daerah tersebut dari permukaan laut. Secara umum temperatur udara di suatu daerah dipengaruhi antara lain oleh sudut datang matahari, lama penyinaran matahari, ketinggian daerah, angin dan arus laut serta iklim cuaca.

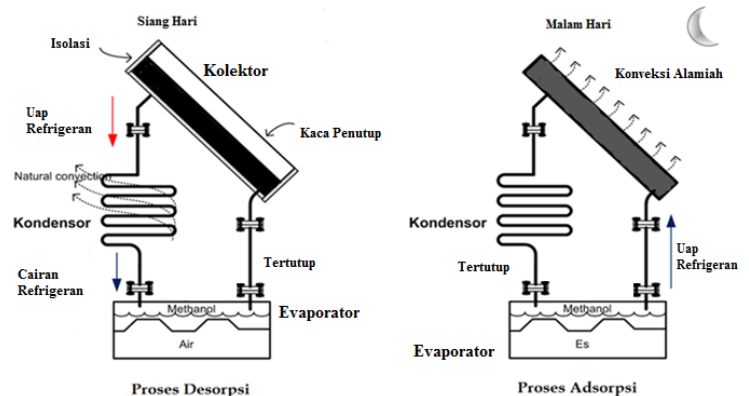
### **Mesin Pendingin Siklus Adsorpsi**

Dapat dikatakan bahwa hampir sebagian besar mesin pendingin menggunakan siklus kompresi uap dengan energi mekanik yang disuplai oleh energi listrik. Namun dengan semakin berkembangnya isu penyelamatan lingkungan dan penghematan penggunaan energi, maka dunia semakin aktif mencari alternatif pengganti siklus kompresi uap untuk memenuhi kebutuhan pendingin. Salah satu yang cukup potensial adalah mesin pendingin siklus adsorpsi tenaga matahari. Besarnya nilai koefisien performansi (COP) mesin pendingin siklus adsorpsi tenaga matahari bergantung kepada kondisi cuaca dan efisiensi tiap komponen sistem dimana harganya bervariasi dari 0,01 hingga 0,2 (M.A. Alghoul dkk, 2006). Menurut N. Spahis dkk (2007) bahwa ada empat pasangan utama adsorben - adsorbat yang umum digunakan dalam sistem pendingin adsorpsi tenaga matahari yaitu karbon aktif dan metanol, zeolite dan air, silika gel dan air serta karbon aktif dan amonia. Untuk aplikasi dari mesin pendingin siklus adsorpsi ini menurut Y. Fan (2007) dapat dibedakan atas tiga kategori yaitu untuk pendingin udara ruangan ( $8^{\circ}\text{C}$ - $15^{\circ}\text{C}$ ), untuk refrigerasi makanan dan penyimpanan vaksin ( $0^{\circ}\text{C}$ - $8^{\circ}\text{C}$ ) dan untuk proses pembekuan es dan tujuan pengentalan ( $< 0^{\circ}\text{C}$ ). Adsorben fisik yang umum digunakan pada refrigerasi adsorpsi adalah karbon aktif, silika gel dan zeolit. Secara umum, sistem mesin pendingin adsorpsi terdiri dari kolektor, kondensor, dan evaporator. Di dalam kolektor dimuat karbon aktif yang massa optimumnya menurut M. Pons dan J.J. Guillemainot (1986) adalah sebesar  $20 - 26 \text{ kg/m}^2$ . Kolektor yang digunakan harus tertutup, tidak tembus udara luar, dan memiliki pipa penghubung yang menjadi laluan refrigeran masuk dan keluar dari kolektor. Karbon aktif yang mengandung metanol jika dipanaskan dengan menggunakan sinar matahari akan membuat temperatur dan tekanannya meningkat. Kondisi ini akan membuat uap refrigeran pada suhu dan

tekanan tinggi akan terlepas dari adsorben. Proses pelepasan adsorbat atau refrigeran dari adsorben disebut sebagai proses desorpsi dimana proses ini membutuhkan energi panas sehingga disebut juga dengan proses endotermik. Uap ini akan mengalir ke kondensor dan karena proses pendinginan, uap akan berubah menjadi cair dan terkumpul di evaporator. Saat malam hari atau jika kolektor ditutup maka temperatur dan tekanan kolektor akan menurun. Pada kondisi ini karbon aktif akan siap untuk menyerap refrigeran kembali. Kondisi ini akan membuat refrigeran yang ada di evaporator menguap dan diserap oleh karbon aktif. Proses ini disebut adsorpsi dan karena proses ini melepaskan energi panas maka disebut juga dengan proses eksotermik. Proses evaporasi refrigeran ini akan menyerap kalor sebesar kalor latennya. Proses ini akan membuat air yang berada di evaporator dapat berubah menjadi es dan pada hari berikutnya siklus akan berulang kembali.

Beberapa penelitian mesin pendingin siklus adsorpsi yang menggunakan pasangan karbon aktif dan metanol sebagai refrigeran yang digerakkan oleh energi matahari dipublikasikan dalam beberapa publikasi internasional. Pons dan Guillminot pada tahun 1986 merupakan pelopor penelitian di bidang ini yang melakukan perancangan dan pengujian mesin pembuat es yang digerakkan oleh tenaga matahari. Kolektor matahari yang digunakan adalah tipe plat datar dengan luas bidang penyerapan  $6 \text{ m}^2$  yang mengandung 130 kg karbon aktif dan metanol sebagai refrigeran sebanyak 18 kg. Pada kondisi sinar matahari yang baik dan lokasi pengujian ada di daerah Orsay, Prancis, diklaim dapat menghasilkan 30-35 kg es per hari. M.Li dkk (2002) melakukan pengujian performansi dan analisis mesin pembuat es dengan menggunakan kolektor tipe dua plat datar dengan total luas penampang  $1,5 \text{ m}^2$ . Kolektor diisi dengan karbon aktif sebagai adsorben dan metanol sebagai refrigeran. Pengujian dilakukan di laboratorium dan sinar matahari disimulasikan dengan menggunakan lampu quartz. Dengan total radiasi dari lampu sebesar 28-30 MJ dapat dihasilkan 7-10 kg es. Penelitian di Kairo juga dilakukan oleh N.M. Khatlab (2004) dengan menggunakan pasangan karbon aktif produk lokal dan metanol serta melakukan modifikasi pada kolektor. Hasil yang didapatkan adalah  $6,9 \text{ kg es/m}^2$  pada musim dingin dan  $9,4 \text{ kg es/m}^2$  pada musim panas. Kemudian M. Li dkk

(2004) melakukan pengembangan mesin pembuat es tanpa menggunakan katup. Jenis kolektor yang digunakan adalah tipe plat datar dengan luas  $1 \text{ m}^2$  dan mengandung 19 karbon aktif yang diproduksi di China dimana dengan kapasitas penyinaran sebesar  $18-22 \text{ MJ/m}^2$  didapatkan es sebanyak 5 kg.



**Gambar 1. Proses desorpsi dan adsorpsi**

### Performansi Mesin Pendingin

Besarnya nilai koefisien performansi COP (*coefficient of performance*) mesin pendingin siklus adsorpsi yang digerakkan tenaga matahari menurut Watheq Khalil Said Hussein (2008) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$COP = \frac{Q_s}{Q_{solar}} = \frac{m_w c_{p_w} \Delta T_w}{G_i A} \quad (1)$$

L.W. Wang (2006) menyatakan bahwa daya pendinginan spesifik SCP (*specific cooling power*) merupakan kapasitas pendinginan untuk tiap kilogram massa adsorben yang dapat diperoleh dengan persamaan :

$$SCP = \frac{W_L}{m_a} \quad (2)$$

dan daya pendinginan  $W_L$

$$W_L = \frac{(m_i \times L) + (m_i \times c_w \times T_{wa}) - (m_i \times c_{p_i} \times T_i)}{t_c} \quad (3)$$

### Analisis Korelasi dan Persamaan Regresi

Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui ada tidaknya hubungan di antara satu atau beberapa variabel. Bila analisis korelasi hanya mencakup dua variabel  $X$  dan  $Y$  maka disebut analisis korelasi linier sederhana (*simple linear correlation*), namun bila mencakup lebih dari dua variabel maka dinamakan analisis korelasi linier berganda (*multiple*

linear correlation). Persamaan statistika untuk koefisien korelasi menurut Karl Pearson adalah:

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (4)$$

Koefisien korelasi akan bernilai satu bila terdapat hubungan linier yang positif dan bernilai -1 bila terdapat hubungan linier yang negatif. Bila nilai korelasi di antara -1 dan +1, hal ini menunjukkan tingkat dependensi linier antara dua variabel. Bila semakin dekat dengan nilai -1 atau +1, maka akan semakin kuat korelasi antara kedua variabel tersebut. Bila variabel-variabel tersebut saling bebas maka nilai korelasi sama dengan 0. Apabila ternyata analisis korelasi menunjukkan hubungan yang cukup kuat, maka analisis dapat dilanjutkan ke sistem analisis regresi. Secara umum regresi linier terdiri dari dua jenis yaitu regresi linier sederhana yaitu dengan satu buah variabel bebas dan satu buah variabel terikat dan regresi linier berganda dengan beberapa variabel bebas dan satu buah variabel tidak bebas. Dalam analisis regresi akan dikembangkan sebuah persamaan regresi yaitu persamaan matematika yang mencari nilai variabel terkait dari nilai variabel bebas yang diketahui. Karena pada penelitian ini terdapat dua variabel bebas yaitu temperatur udara dan intensitas radiasi matahari maka yang digunakan adalah persamaan regresi berganda. Persamaan regresi berganda memiliki bentuk persamaan:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (5)$$

Nilai koefisien regresi  $b_0$  dan  $b_1$  dapat diperoleh dengan memakai aturan-aturan dalam matriks dimana :

$$b_1 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n X_2^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n X_1 Y \right) - \left( \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right) \left( \sum_{i=1}^n X_2 Y \right)}{\left( \sum_{i=1}^n X_1^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n X_2^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right)^2} \quad (6)$$

$$b_2 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n X_1^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n X_2 Y \right) - \left( \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right) \left( \sum_{i=1}^n X_1 Y \right)}{\left( \sum_{i=1}^n X_1^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n X_2^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right)^2} \quad (7)$$

Dengan mengetahui nilai  $b_1$  dan  $b_2$  maka nilai  $b_0$  dapat ditentukan dengan persamaan

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 \quad (8)$$

Dari analisis regresi ini juga akan diperoleh nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang dapat

menyatakan besarnya pengaruh variabel bebas terhadap variabel tidak bebas.

## METODE PENELITIAN

### Tempat dan Waktu

Pengujian dilaksanakan di laboratorium energi surya Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara selama 7 hari dari tanggal 1 April 2012 sampai dengan 7 April 2012.

### Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

- Metanol sebagai adsorbat atau refrigeran dengan kemurnian 99,9% sebanyak 2 liter
- Air sebagai media yang didinginkan sebanyak 2,5 liter
- Karbon aktif sebagai adsorben sebanyak 8 kg dimana yang digunakan jenis karbon aktif biasa

### Peralatan

- a. Pyranometer untuk mengukur intensitas radiasi matahari.
- b. T and RH smart sensor untuk mengukur temperatur udara.



Gambar 2. Alat ukur yang digunakan

#### Spesifikasi alat ukur

- Skala pengoperasian :
  - 20°C – 50°C dengan baterai alkalin
  - 40°C – 70°C dengan baterai litium
- Input sensor : 3 buah sensor pintar *multi channel monitoring*
- Ukuran dan berat : 8,9 cm x 11,4 cm x 5,4 cm dan 0,36 kg
- Memori : 512K penyimpanan data *nonvolatile flash*

- Interval pengukuran : 1 detik - 18 jam
- Akurasi waktu: 0 sampai 2 detik untuk titik data pertama dan  $\pm 5$  detik untuk setiap minggu pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$
- c. Data akuisisi agilent dan termokopel tipe J sebanyak 20 *channel*
- d. *Pressure gauge*
- e. Pompa vakum

### Experimental Setup

Mesin pendingin yang telah dirakit dihubungkan dengan alat akuisisi data agilent melalui kabel termokopel sebanyak 20 titik (*channel*) yang ditempatkan pada kolektor, kondensor, evaporator dan air. Data akuisisi agilent akan menampilkan distribusi temperatur yang terjadi saat pengujian berlangsung pada komponen kolektor, kondensor, evaporator dan air yang langsung terhubung ke komputer. Sedangkan *pressure gauge* dipasang pada kolektor serta di antara kondensor dan evaporator pada mesin pendingin. Untuk alat ukur dipasang secara permanen di gedung Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU.



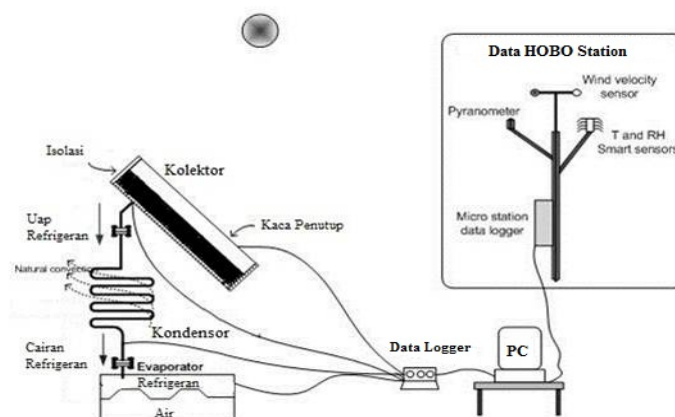
Gambar 3. Mesin pendingin siklus adsorpsi

### Pengolahan dan Analisa Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan terdiri dari :

- a. Data primer merupakan data yang diperoleh berdasarkan pengukuran yang dilakukan di lokasi pengujian.
- b. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari literatur atau sumber data lain yang terkait.

Kemudian data yang diperoleh dari hasil pengujian diolah dengan menggunakan fungsi-fungsi statistik untuk selanjutnya dianalisis.



Gambar 4. Experimental setup

### Variabel Penelitian

Variabel yang diamati pada penelitian ini adalah :

- a. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu temperatur udara dan intensitas radiasi matahari
- b. Variabel tidak bebas (*dependent variable*) yaitu koefisien performansi mesin pendingin (COP)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Performansi Mesin Pendingin

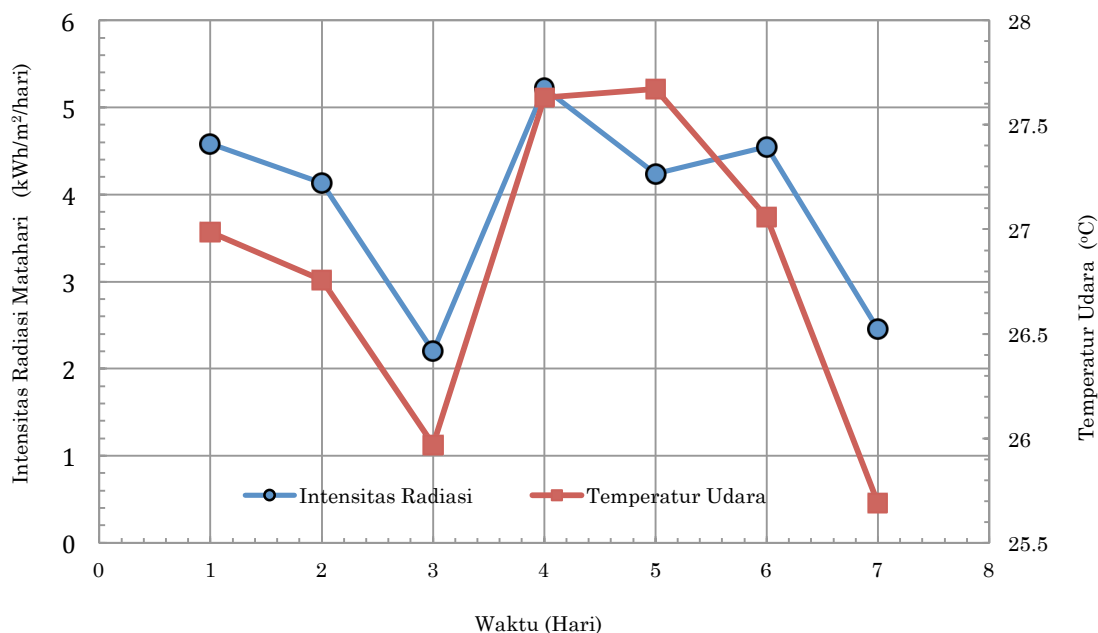
Data hasil pengukuran dan pengujian di laboratorium ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Proses pengujian dilakukan selama 24 jam dengan menggunakan adsorben karbon aktif sebanyak 8 kg dan refrigeran metanol sebanyak 2 liter. Di dalam kotak evaporator diisi oleh air sebagai media yang didinginkan sebanyak 2,5 liter. Dari Tabel 1 tampak bahwa besarnya intensitas radiasi matahari selama pengujian berfluktuasi dimana paling tinggi terjadi pada hari keempat sebesar  $5,219 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  dan paling rendah terjadi pada hari ketiga yaitu  $2,198 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ . Sedangkan temperatur udara paling rendah tercatat  $25,69^{\circ}\text{C}$  dan paling tinggi  $27,673^{\circ}\text{C}$ . Nilai rata-rata temperatur udara selama pengukuran berkisar  $26,823^{\circ}\text{C}$ . Besarnya temperatur rata-rata air selama proses adsorpsi untuk selama pengujian berkisar dari  $8,24^{\circ}\text{C}$  -  $11,17^{\circ}\text{C}$  Temperatur rata-rata maksimum pada kolektor terjadi pada saat proses desorpsi pada hari pertama yaitu  $121,45^{\circ}\text{C}$  dan temperatur minimum terjadi pada saat proses adsorpsi yaitu  $24,47^{\circ}\text{C}$ . Untuk di kondensor, temperatur maksimum yang dicapai pada saat proses desorpsi adalah  $36,24^{\circ}\text{C}$  dan temperatur minimum pada saat proses adsorpsi yaitu  $21,24^{\circ}\text{C}$ .

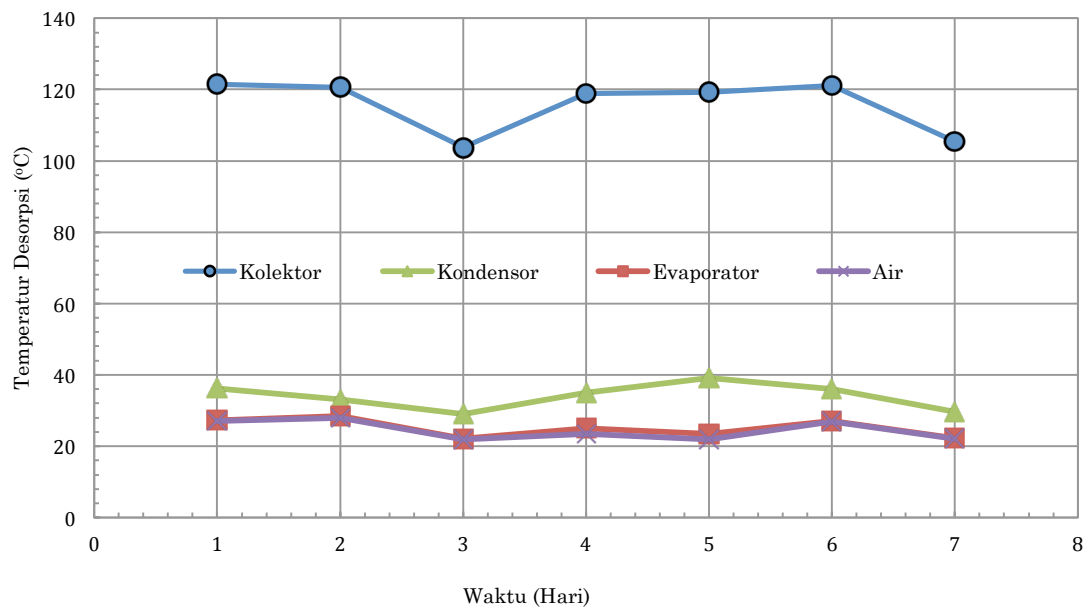
**Tabel 1. Temperatur rata-rata setiap komponen pada proses desorpsi-adsorpsi**

Waktu (Hari)	Radiasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	Temperatur Rata-rata (°C)							
		Kolektor		Kondensor		Evaporator		Air	
		Desorpsi	Adsorpsi	Desorpsi	Adsorpsi	Desorpsi	Adsorpsi	Desorpsi	Adsorpsi
1	4.585	121.45	29.44	36.24	23.68	27.32	10.57	27.02	10.41
2	4.133	120.68	26.36	33.18	22.21	28.49	9.87	27.89	9.22
3	2.198	103.79	24.01	29.01	21.24	22.13	10.23	21.98	9.99
4	5.219	118.86	31.09	34.98	24.62	25.07	11.38	23.39	11.17
5	4.240	119.23	28.43	39.21	23.48	23.42	9.29	21.82	9.10
6	4.551	121.09	29.01	35.98	23.46	27.01	8.46	26.90	8.24
7	2.453	105.46	24.47	29.68	21.69	22.33	9.49	22.00	9.17

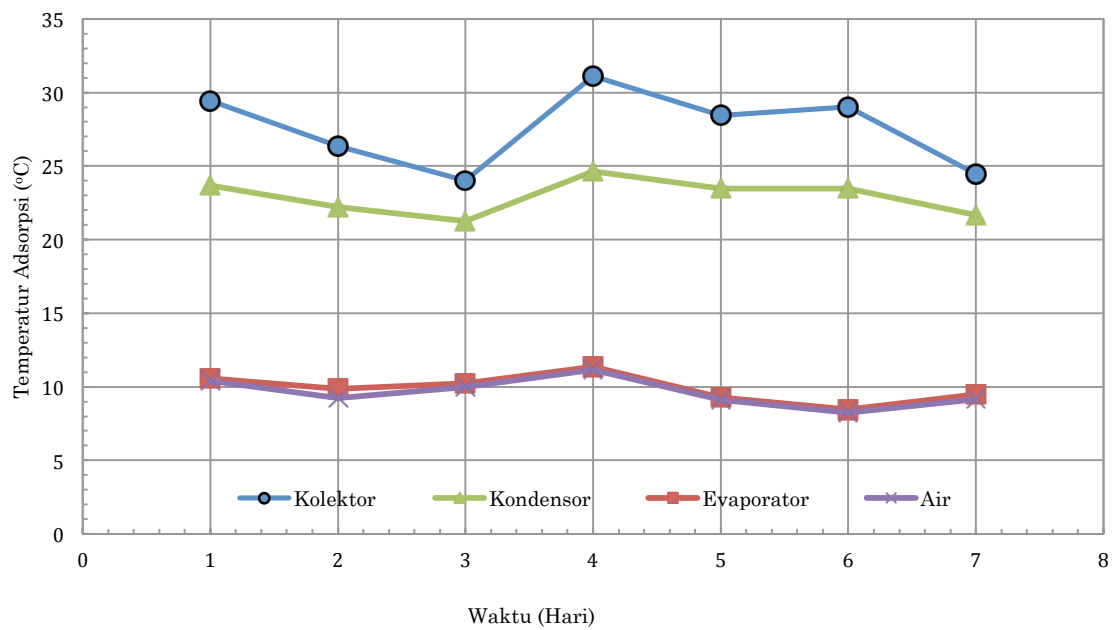
**Tabel 2. Nilai COP dan SCP selama pengujian**

Waktu (Hari)	Temperatur Udara Rata-rata (°C)	Radiasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	C O P	S C P (kW/kg)
1	26.987	4.585	0.043	8.4265
2	26.757	4.133	0.053	8.4578
3	25.969	2.198	0.064	8.3564
4	27.630	5.219	0.028	8.3598
5	27.673	4.240	0.035	8.3673
6	27.058	4.551	0.048	8.4575
7	25.690	2.453	0.062	8.3692

**Gambar 5. Kondisi radiasi matahari dan temperatur udara selama pengujian**

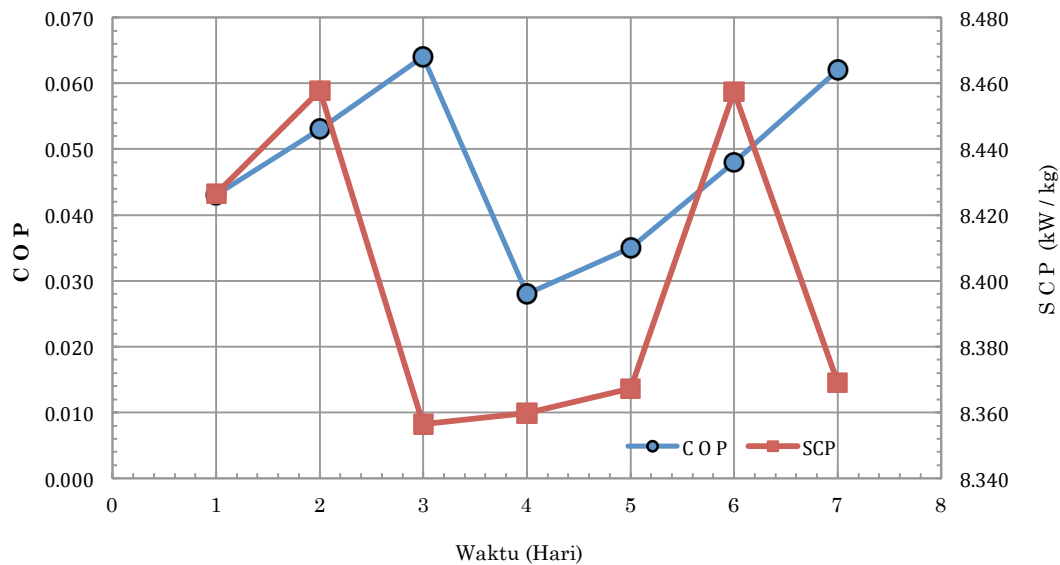


**Gambar 6. Kondisi temperatur desorpsi pada setiap komponen**



**Gambar 7. Kondisi temperatur adsorpsi pada setiap komponen**





Gambar 8. Nilai COP dan SCP yang diperoleh selama pengujian

Di evaporator, temperatur maksimum sebesar  $28,49^{\circ}\text{C}$  pada proses desorpsi dan temperatur minimum sebesar  $8,46^{\circ}\text{C}$  pada proses adsorpsi. Dari hasil pengujian diperoleh temperatur air paling rendah pada saat proses adsorpsi tanggal 6 April 2012 sebesar  $8,24^{\circ}\text{C}$ . Pada pengujian ini juga dipasang dua *pressure gauge* untuk mengukur tekanan pada kolektor serta tekanan di antara kondensor dan evaporator. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadi variasi tekanan mulai saat proses desorpsi hingga proses adsorpsi yang bernilai di antara  $-55,50$  cm Hg hingga  $29,00$  cm Hg.

Tabel 2 menunjukkan besarnya nilai COP (*coefficient of performance*) dan SCP (*specific cooling power*) yang diperoleh selama pengujian. Nilai COP maksimum diperoleh pada pengujian tanggal 3 April 2012 sebesar 0,064 dan nilai COP minimum diperoleh pada tanggal 4 April 2012 sebesar 0,028. Harga SCP maksimum didapatkan  $8,4578$  kW/kg pada tanggal 2 April 2012 dan nilai SCP minimum diperoleh pada tanggal 3 April 2012 sebesar  $8,3564$  kW/kg. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa temperatur udara dan intensitas radiasi matahari yang terjadi mengalami fluktuasi yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Besarnya intensitas radiasi matahari dan temperatur udara turut mempengaruhi besarnya nilai COP dan SCP yang diperoleh.

#### Analisis Korelasi dan Regresi

Besarnya nilai korelasi di antara parameter temperatur udara dan intensitas radiasi matahari dengan koefisien unjuk kinerja mesin pendingin cukup signifikan. Korelasi intensitas radiasi matahari dengan temperatur udara yaitu 0,90 dimana hal ini mengindikasikan bahwa bila intensitas radiasi matahari meningkat maka temperatur udara juga semakin tinggi dan begitu sebaliknya. Dan korelasi yang terjadi di antara intensitas radiasi matahari dengan koefisien performansi (*coefficient of performance*) berkisar -0,88 yang berarti bahwa bila intensitas radiasi matahari meningkat maka nilai koefisien performansi mesin pendingin akan mengalami penurunan dan sebaliknya. Sedangkan nilai korelasi antara parameter temperatur udara dengan koefisien performansi adalah -0,95 dimana hal ini berarti bahwa dengan meningkatnya temperatur udara maka koefisien performansi mesin pendingin akan menurun dan sebaliknya. Dengan adanya korelasi yang signifikan di antara ketiga parameter tersebut maka dapat diperoleh persamaan matematisnya. Persamaan untuk koefisien performansi mesin pendingin (COP) sebagai fungsi temperatur udara ( $T_u$ ) dan intensitas radiasi matahari ( $I_R$ ) adalah :

$$COP = 0,4435 - 0,0145T_u - 0,0016I_R \quad (9)$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk memprediksi besarnya koefisien performansi



(*COP*) mesin pendingin siklus adsorpsi yang dipengaruhi oleh parameter temperatur udara dan intensitas radiasi matahari. Disamping itu diperoleh juga koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 90,45%, dimana hal ini menyatakan bahwa pengaruh temperatur udara dan intensitas radiasi matahari terhadap koefisien performansi mesin pendingin siklus adsorpsi sebesar 90,45%.

### KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa intensitas radiasi matahari yang diterima kolektor selama pengujian berfluktuasi dimana paling tinggi terjadi pada hari keempat sebesar 5,219 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan paling rendah terjadi pada hari ketiga yaitu 2,198 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Begitu juga dengan temperatur rata-rata udara selama pengukuran bervariasi dari 25,69°C-26,823°C. Besarnya *COP* maksimum diperoleh pada pengujian tanggal 3 April 2012 sebesar 0,064 dan nilai *COP* minimum diperoleh pada tanggal 4 April 2012 sebesar 0,028. Nilai daya pendinginan spesifik (*SCP*) maksimum didapatkan 8,4578 kW/kg pada tanggal 2 April 2012 dan nilai *SCP* minimum diperoleh pada tanggal 3 April 2012 sebesar 8,3564 kW/kg. Dari pengujian didapatkan bahwa temperatur air paling rendah yang dicapai pada saat proses adsorpsi tanggal 6 April 2012 sebesar 8,24°C. Besarnya nilai korelasi di antara ketiga parameter tersebut cukup signifikan. Diperoleh juga persamaan matematis yang dapat digunakan untuk memprediksi besarnya koefisien unjuk kinerja (*COP*) mesin pendingin siklus adsorpsi sebagai fungsi dari parameter intensitas radiasi matahari dan temperatur udara. Korelasi yang terjadi juga menghasilkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 90,45%, dimana hal ini menyatakan bahwa pengaruh parameter temperatur udara dan intensitas radiasi matahari terhadap koefisien performansi mesin pendingin siklus adsorpsi sebesar 90,45%.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Proyek CASINDO yang merupakan kerjasama antara ECN Belanda, TU Eindhoven, Kementerian ESDM Indonesia, dan Universitas Sumatera Utara dalam bidang pendidikan atas bantuan peralatan ukur *Data HOBO Station* dan data akusisi agilent di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

### DAFTAR PUSTAKA

1. E.E. Anyanwu, Review of solid adsorption solar refrigerator I: an overview of the refrigeration cycle, Elsevier (2003).
2. E.E. Anyanwu, Review of solid adsorption solar refrigeration II: An overview of the principles and theory, Elsevier (2004)
3. Himsar A., Karakteristik Energi Surya Kota Medan Sebagai Sumber Energi Siklus Refrigerasi Untuk Pengkondisian Udara (AC), Seminar Nasional Sains & Teknologi dan Pameran Mendukung MP3EI, Aula FT. USU, 23 November 2012.
4. John A Duffie, Solar Engineering of Thermal Processes, 3rd Edition (2006)
5. Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Buku Putih Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025, Jakarta, 2006
6. K.Sumathy, An Energy Efficient Solar Ice Maker, Department of Mechanical Engineering, University of Hongkong.
7. L.W. Wang, R.Z. Wang, R.G. Oliveira, A review on adsorption working pairs for refrigeration, Renewable and Sustainable energy Reviews 13 (2009) 518-534.
8. L.W. Wang, The performance of two adsorption ice making test units using activated carbon and a carbon composite as adsorbents, Elsevier Journal, 2006.
9. Larcher, W., Physiological Plant Ecology, New York, Trans M.A. Biederman Thorson (1980).
10. M. Pons and J.J. Guilleminot, Design of an experimental solar-powered, solid-adsorption ice maker, Transactions of the ASME, Journal of Solar Energy Engineering 108 (1986) 332-337.
11. M. Li, C.J. Sun, R.Z. Wang, dan W.D. Cai, Development of no valve solar ice maker, Applied Thermal Engineering 24 (2004) 865-872.
12. M.A. Alghoul, M.Y. Sulaiman, B.Z. Azmi, M.Abd. Wahab, Advances on multi-purpose solar adsorption systems for domestic refrigeration and water heating, (Elsevier 2006).
13. M. Li, R.Z. Wang, Y.X. Xu, J.Y. Wu, and A.O. Dieng, Experimental study on dynamic performance analysis of a flat-plate solar solid-adsorption refrigeration for ice maker, Renewable Energy 27 (2002) 211-221.
14. N.M. Khattab, A novel solar-powered adsorption refrigeration module, Applied Thermal Engineering 24 (2004) 2747-2760.
15. N.D. Banker a,1, M. Prasad b, P. Dutta a, K. Srinivasan, Activated carbon + HFC 134a based two stage thermal compression adsorption, by (2009), Elsevier

16. Supranto, J., Statistik Teori dan Aplikasi Jilid II, Penerbit Erlangga Jakarta, 1991.
17. V. Ponec, Z. Knor, and S. Cherny, "Adsorption on Solid, London, England, Butterworth ,1974.
18. N. Spahis, A. Addoun and H. Mahmoudi, Study on solar adsorption refrigeration cycle utilizing activated carbon prepared from olive stones, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 10 No3 (2007) 415 – 420.
19. Watheq Khalil Said Hussein ,Solar Energy Refrigeration by Liquid-Solid Adsorption Technique" (Thesis 2008)
20. Y.Hamamoto, K.C.A Alam, B.B. Saha, S. Koyama, A.Akisaawa, T. Kashiwagi, Study on Adsorption Refrigeration Cycle Utilizing Activated Carbon Fibers Part 1 Adsorption Characteristics, *International Journal of Refrigeration* 29 (2006) 305-314.
21. Y. Fan,Review of solar adsorption technologies - Development and Applications, Elsevier Journal (2007)